Relation entraînement-performance

Montpellier Fev 2013

L2 46.3C Evaluation de la performance

Robin Candau
Université de Montpellier I
Faculté des Sciences du Sport
Robin.candau@univ-montp1.fr
http://robin.candau.free.fr

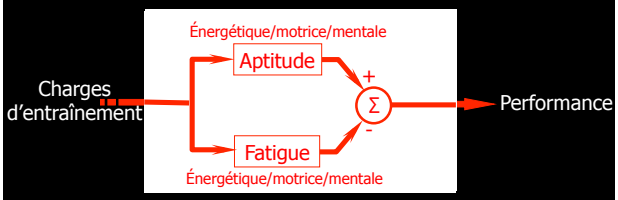
Plan

- Bases du processus d'entraînement
- Analyse de l'activité et principe d'entraînement
  - Volume minimal requis
  - Intensité facteur essentiel
  - Respect de la spécificité
  - Concept de transfert positif
  - Principe de plaisir
  - Principe de variété de l'entraînement
- Structure de l'entraînement
- Individualisation
  - Evaluation des aptitudes initiales et tests de terrain
  - Sensibilité individuelle à l'entraînement
- Conclusion

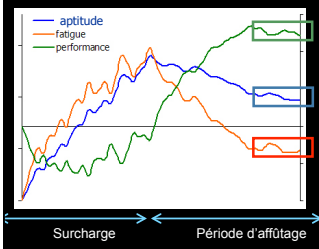
Bases du processus d'entraînement

L'entraînement est un art qui nécessite :

- des connaissances
- de l'expérience
- du bon sens
- un bon feeling



Banister et Calvert, 1980
Banister et Hamilton, 1985
Banister et al., 1986



Performance stable et élevée

||

Aptitude élevée

+

Fatigue faible

Importance de la planification de l'entraînement

1. analyse des exigences de l'activité
2. Principes de l'entraînement

→ structure de l'entraînement

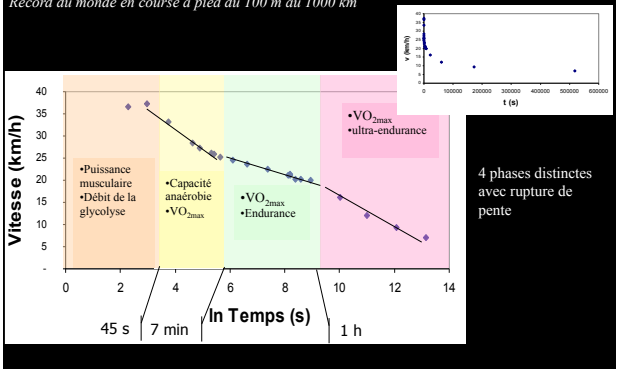
Evaluation des aptitudes initiales et des effets de l'entraînement

Evaluation de la sensibilité à l'entraînement

individualisation de l'entraînement

Analyse des exigences de l'activité

Record du monde en course à pied du 100 m au 1000 km



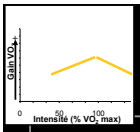
4 phases distinctes avec rupture de pente

Développement de la puissance musculaire et de la glycolyse

Facteur limitant	*Forme d'entraînement*
1. commande motrice et coordination 2. % surface fibre rapide (IIx) 3. Glycogène phosphorylase et PFK	•musculation lourde avec 3-12 répet •Travail à vitesse optimale •sprints spécifiques de 2 à 40 s (répétiton 2 à 10)

Développement de la capacité anaérobie

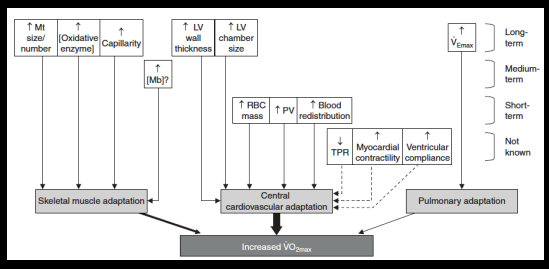
Facteur limitant	*Forme d'entraînement*
•Aptitude à recycler H+, Pi et ADP • Résistance à la fatigue neuromusculaire (Pompes Na/K+)	Intervalles courts de 30 à 4 min. Récupération : de 3 à 10 min Nbre de répétition : 3 à 10



Développement de VO_{2max}

Facteur limitant	*Forme d'entraînement*
•Débit cardiaque maximal (80%). •Volume d'éjection systolique •Volume de sang •Concentration en hémoglobine •Diffusion alvéolo-artérielle Facteurs périphériques (20%)	Intervalles : •15s d'exercice / 15s de récupération active •30/30, •1min/1min, •3min/3min, •5 min/ 3min 10 min/3min •Intervalles naturels. Placer 1 à 2 séances de ce type par semaine en variant les plaisirs.

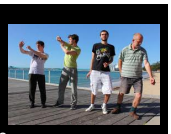
Les facteurs responsables des gains de VO'_{2max}



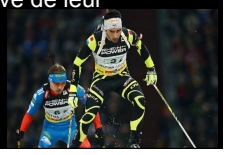
Midgley et al., 2006

Devoir à la maison : reconstruire le schéma en Français

Intensité la plus efficace?



- 40–50% $V'O_{2max}$ peut augmenter $V'O_{2max}$ chez le sujet non-entraîné (intensité minimale dépend de $V'O_{2max}$ initiale)
- 95-100% $V'O_{2max}$ nécessaire pour l'élite (les skieurs de fond de l'élite mondiale présentent une portion significative de leur entraînement à cette intensité)



Aspects historiques

- Paavo Nurmi →Le Fartlek

- Emile Zatopek → utilisation massive

- Waldemar Gerschler et Rudolf H → Le concept et son application

Historique : approche scientifique

Les premiers travaux scientifiques remontent à 1960 :

- Astrand et coll. Intermittent muscular work. Acta Physiol Scand 1960 ; 48 : 448-453
- Christensen et coll. Intermittent and continuous running. Acta Physiol Scan 1960 ; 50 : 269-286

Per Olof Astrand

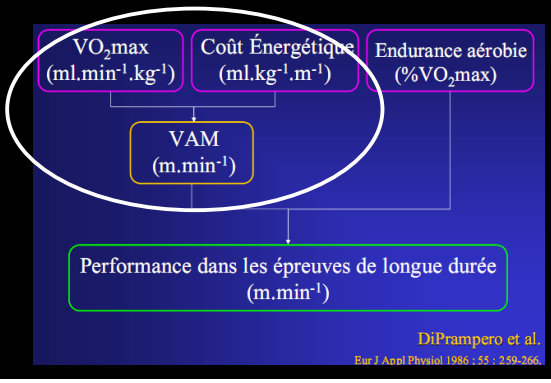
Historique

L' entraînement par intervalles

- Saltin et coll. Intermittent exercise: its physiology ans some practical implications Advances in exercise physiology, Karger, Basel, 1960 ; 34 : 87-114

Bengt Saltin

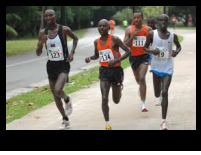
Développé grâce aux intervalles (2 à 3 fois plus de travail possible)

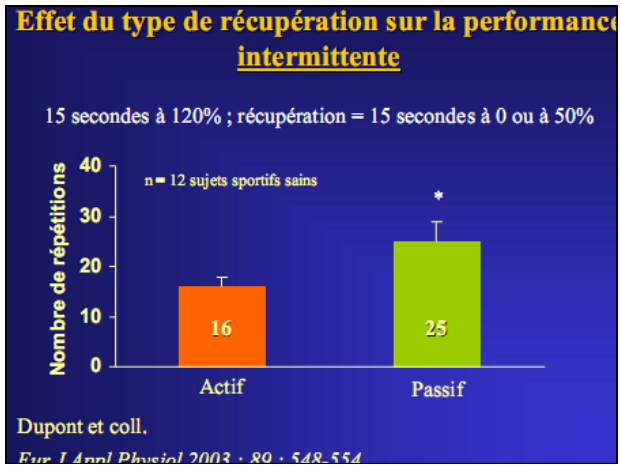

VO2max (ml.min-1.kg-1)
Coût Énergétique (ml.kg-1.m-1)
Endurance aérobie (%VO2max)
VAM (m.min-1)
Performance dans les épreuves de longue durée (m.min-1)
DiPrampero et al.
Eur J Appl Physiol 1986 ; 55 : 259-266.

- VMA = (V'O2max-V'O2repos) / C

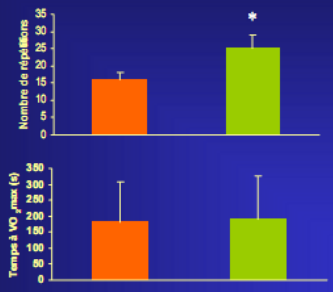
Caractéristiques d'un exercice intermittent

- Intensité de l'exercice (%VMA, $\%VO_{2max}$, %record)
- Durée de l'exercice (minutes, secondes)
- Durée de la récupération (minutes, secondes)
- Type de la récupération (active, passive)
- Nombre de répétitions de l'exercice (n)





Effet du type de récupération sur la performance intermittente



Bosquet

Pour développer VO_{2max}, les récupérations actives sont préférables

Dupont et coll.

Eur J Appl Physiol 2003 : 89 : 548-554

Bilan des méthodes proposées

Intensité (%VAM)	Effet sur … Capacité anaérobie	PAM	EA	Type d Séanc
110	Très élevé	Très élevé	-	
105	Très élevé	Très élevé	-	
100	Élevé	Très élevé	-	
95	Moyen	Élevé	Moyen	
90	Faible	Moyen	Élevé	
85	Faible	Faible	Très élevé	
80	Faible	Faible	Élevé	
75	Faible	Faible	Moyen	
70	Faible	Faible	Faible	
65	Faible	Faible	Faible	

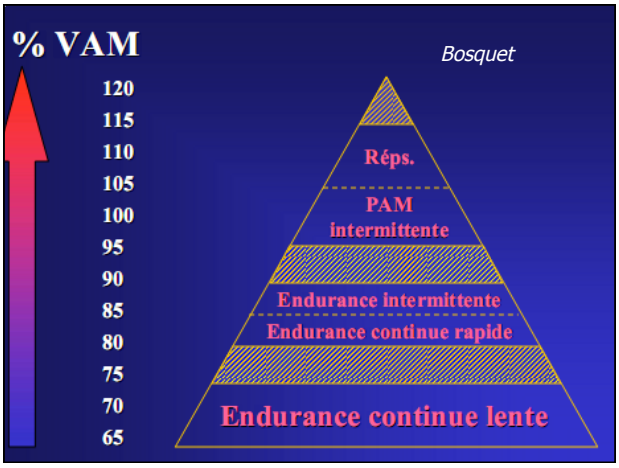
PAM — Intensités sous-maximales ne modifient que l'aptitude aérobie (Gorostaiga et al., 1991 ; Helgerud et al., 200 Weston et al., 1997 ; Edge et al., 2006)

EA I

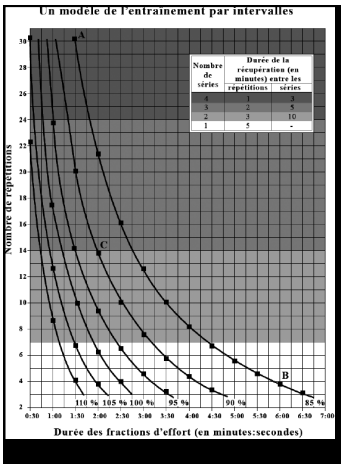
ECR — Intensités supramaximales modifient aptitudes aérobie et anaérobie (Gaiga et al, 1995 ; MacDougall et al., 199 Rodas et al., 2000 ; Simonsau et al., 1987 ; Tabata et al., 1996 ; Weber et al, 2002 ; Edge et al., 2006)

ECL

Bosqu



Bosquet


Un modele de l'entrainement par intervalles
Nombre de répétitions
Durée des fractions d'effort (en minutes:secondes)
110 % 105 % 100 % 95 % 90 % 85 %

Méthode pour organiser des intervalles

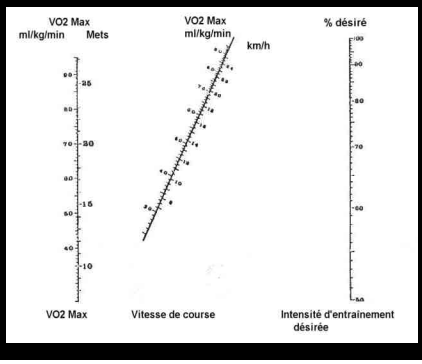
Les séances ont été déterminées de telles sorte que l'épuisement soit atteint à la fin et que la stimulation soit optimale.

1. Développement capacité anaérobie (I>100% de PMA)
2. Développement VO2max (I entre 95-100% de PMA)
3. Endurance entre 85 et 95% de PMA

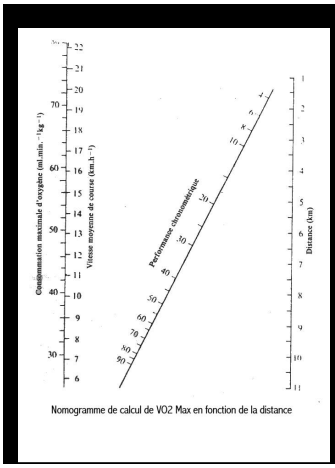
➡ *Concevez 3 séances pour développer ces 3 aptitudes.*

Thibault and Marion, 1998 MSSE

Nomogramme de détermination de la vitesse d'entraînement en fonction de VO_{2max} et de l'intensité désirée



Nomogramme de rapport entre VO_{2max} / distance / vitesse de course



Nomogramme de calcul de VO2 Max en fonction de la distance

Développement de l 'endurance

Facteur limitant	*Forme d'entraînement*
1. % fibres lentes et IIa 2. distance moyenne entre capillaires et mitochondries, 3. densité mitochondriale, 4. aptitude à oxyder des lipides 5. efficacité des systèmes de thermolyse	1. Séquences d'exercice > 5-20 min, récupération de 30s-10 min. 2. Longues sorties en continu (1 à 2 par semaine) ; préserver l'appareil locomoteur! 3. Entraînement à jeûn de 10 à 40 min représente une sollicitation efficace 4. Séance d'imitation de la compétition

% VO2max maintenu en fonction du temps selon Saltin

intensité de l'effort (exprimée en fraction de VO_2 max) = 0,940 - (0,001 x temps (exprimé en minutes).

- Un ½ marathon se court à 0,940 - (0,001 x 60) = 88% VMA .
- Et celui qui boucle son marathon en trois heures sera vraisemblablement à 76% (= 0,940 – (0,001 x 180))

Ultra endurance

$\%VO_2$ max = 91,24 - (3,79 t) + (0,08t²)

Pour un 100 bornes en 9H
91,24 - (3,79 x 9) + (0,08 x 81) = 76%.

Disciplines techniques

Performance = puissance métabolique / économie

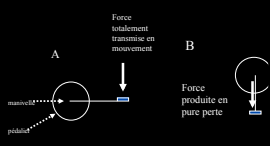
= $(A/t + VO_{2max}\ f)$ / économie

Optimiser l'économie de déplacement (volume important à faible intensité et à vitesse spécifique de compétition)

Optimiser l'économie de déplacement

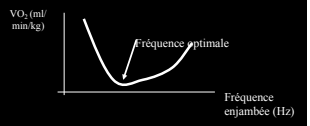
Travail technique visant à optimiser :

1. les résistances aérodynamiques (travail systématique de la position)
2. les résistances de friction
3. L'Orientation des forces dans le sens du déplacement

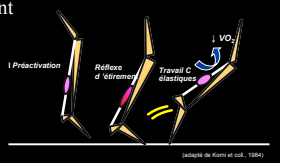


Travail technique visant à optimiser :

4. La fréquence de cycle



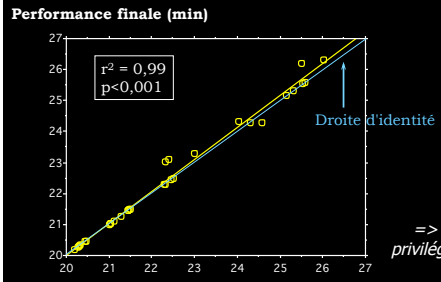
5. Le cycle étirement-raccourcissement



Cas des disciplines combinées

Sur quelle discipline l'accent doit être mis ?

Exemple



=> l'entraînement doit privilégier la performance en ski

Groslambert et al., 1995

1. analyse des exigences de l'activité
2. Principes de l'entraînement

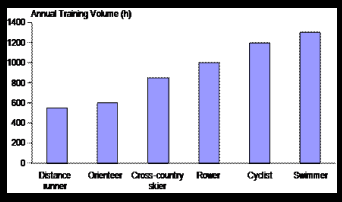
→ structure de l'entraînement

Evaluation des aptitudes initiales et des effets de l'entraînement

Evaluation de la sensibilité à l'entraînement

individualisation de l'entraînement

Volume requis pour l'élite



Attention! Augmentation annuelle que de 20%

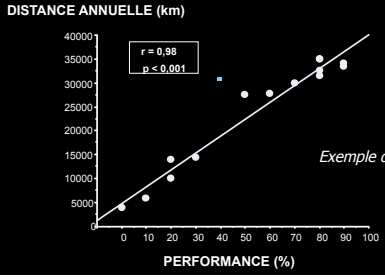
Figure 6. Representative peak annual training volumes for champion athletes from different sports. Ballistic and eccentric loading differences, demands on technical entrainment, and non-specific training volume may all contribute to the differences.

Volume minimal requis

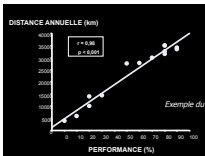
Le volume annuel d'entraînement dépend :

- Du niveau de l'athlète, de ses motivations et de ses disponibilités

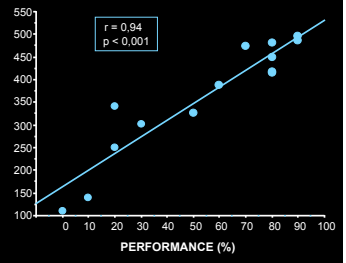
Indication grâce au volume recommandé par les fédérations sportives en fonction des catégories d'âge



Exemple du cyclisme



h ou km ?



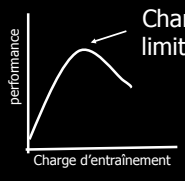
La relation entraînement-performance est-elle linéaire ?

- Relation linéaire forte entre la dépense énergétique quotidienne et le niveau de VO_{2max} (r = 0,92, *Berthouze et al.*).
- Une réduction prolongée de l'entraînement => diminution de performance (Neufer, 1989).

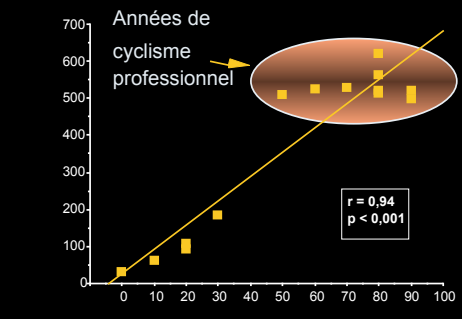
Mais la relation est plus complexe qu'une simple relation linéaire (chute de performance en période de surcharge et surcompensation ultérieure)

Existence d'un volume limite?

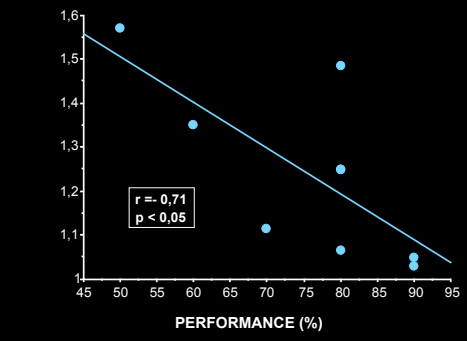
- Stagnation des performances au delà d'une certaine quantité (Foster et al., 1996).
- Kuipers (1998) a même décrit une relation en forme de « U-inversé », en considérant le cas des surcharges qui peuvent engendrer une diminution de performance (Jeukendrup et al., 1992 ; Halson et al.,2002).
- Périodes d'entraînement réduit, appelées « affûtage » pour améliorer la performance le jour J.



Intensité : facteur essentiel



Intensité : facteur essentiel



Répartition de l'entraînement en zones d'intensité

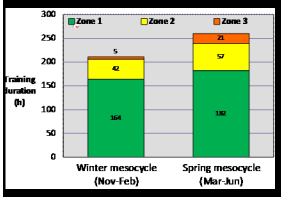


Figure 2. Cycling intensity and volume of elite Spanish U23 cyclists training in the period November to June. Data redrawn from Zapico et al. (Zapico et al., 2007).

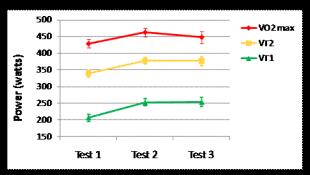


Figure 3. Response to periodization of training intensity and volume in elite Spanish U23 cyclists. Physiological test results from tests performed before starting the winter mesocycle (Test 1), at the end of the winter mesocycle (Test 2), and at the end of the Spring mesocycle (Test 3). Data redrawn from Zapico et al. (2007).

Zapico et al.,2007)

Importance de l'intensité

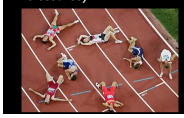
- Une réduction des charges sur 15 semaines, où fréquence et volume étaient maintenus, induisait une baisse de VO_{2max} et de perf (en 5 semaines surtout) d'autant plus importante que l'intensité était diminuée (1/3 et de 2/3).
- A l'inverse, avec l'intensité maintenue, pas de diminution (Hickson et al., 1981, 1982, 1985) que le volume ou la fréquence aient été diminués de 1/3 ou 2/3

Respect de la spécificité

Intensité

Adaptations physiologiques, techniques et mentales optimales

(danger du surentraînement et blessures)



Coordination du mouvement

Gain dans :

- l'économie de déplacement
- la charge attentionnelle

=> Disponibilité pour la tactique la stratégie

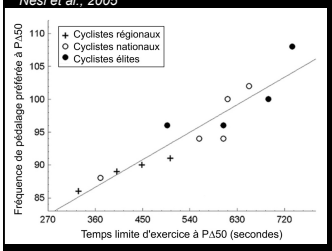
Vitesse et force de contraction

Optimisation :

- de la perfusion des muscles
- du travail élastique

Vitesse et force de contraction

Nesi et al., 2005



↑ Fréquence de cycle (pour une puissance donnée)

⇩

↓ force de contraction

⇩

↓ occlusion

⇩ ⇩

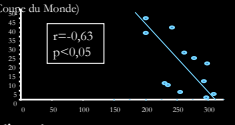
↑de la perfusion | ↑ apport en O_2

Armstrong et Petersen, 1981

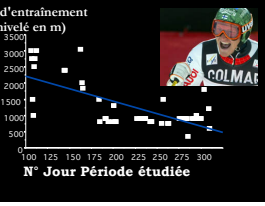
Part relative de l'entraînement spécifique (10 à 50%)

Entraînement spécifique trop faible?

Performance en Descente
place en Coupe du Monde)

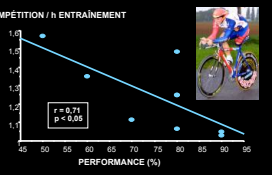


Volume d'entraînement (dénivelé en m)



Entraînement spécifique trop important?

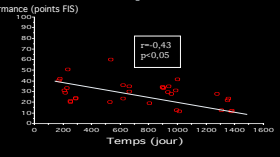
h COMPÉTITION / h ENTRAÎNEMENT

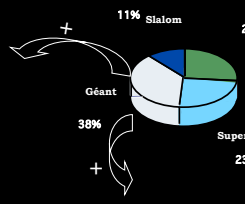


- Spécialisation progressive (écueil de l'entraînement précoce)

Super G

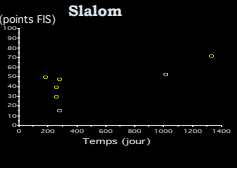
Performance (points FIS)





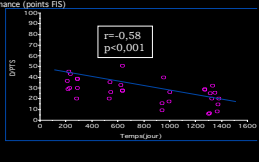
Slalom

Performance (points FIS)



Descente

Performance (points FIS)



Performance	Entraînement: Natation	Cyclisme	Course à pied	Triathlon
Natation (vitesse %)	τ = 33 r = 0,33***	NS	NS	τ = 17 r = 0,33*
Course à pieds (vitesse %)	NS	τ = 39 r = 0,52***	τ = 47 r = 0,64***	τ = 58 r = 0,54***

Millet et al., 2002

Spécificité de l 'entraînement

Millet et al., 2002

Performance	Entraînement: Natation	Cyclisme	Course à pied	Triathlon
Natation (vitesse %)	τ = 33 r = 0,33***	NS	NS	τ = 17 r = 0,33*
Course à pieds (vitesse %)	NS	τ = 39 r = 0,52***	τ = 47 r = 0,64***	τ = 58 r = 0,54***

Principe de plaisir

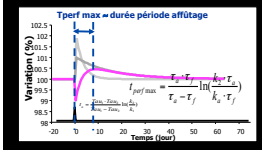
• Le sport ne devrait-il pas rester un jeu ? *A fortiori* chez l'enfant et l'adolescent ? Même les athlètes d'élite doivent éprouver du plaisir dans leur pratique afin d'encaisser leurs lourdes charges d'entraînement.

- La séance est d'autant mieux supportée qu'elle est librement consentie et qu'elle est ludique en particulier pour les exercices intenses et épuisants

Principe de variété de l'entraînement

- Répétition de la même charge de travail, ➔ une adaptation transitoire puis une stagnation des performances
- Surprendre l'organisme afin de déterminer des adaptations à un niveau supérieur
- Variétés dans :
  - L'intensité
  - La durée
  - Les formes d'entraînement (travail continu ou discontinu, les types d'entraînement, les lieux d'entraînement et les camarades d'entraînement)

Principe de surcompensation →Affûtage



Affûtage = après une surcharge, ↓ non-linéaire des charges afin ↑ la perf

Gain de perf de 2% en moyenne (6% à -1%) chez 100 nageurs qui préparaient les JO de 2000. Contre perf chez 10% d'entre eux (Mujika *et al.*, 2002).

Période de surcharge

Eviter le surentraînement à long terme

- Définition du surentraînement : effondrement des performances qui requiert une longue période de récupération (jusqu'à plusieurs mois)
- Définition du surentraînement à court terme, ou « overreaching », qui est recherché et caractérisé par une faible réduction des performances et réversible plus rapidement (Fry et coll., 1991).

Surcharge

Période de 3 à 4 semaines composées de charges d'entraînement lourdes qui déterminent une chute transitoire de performance

http://www.webactus.net/

- méta-analyse qui reposait sur 27 études portant exclusivement sur des sportifs confirmés, fait part de variations de performance comprises entre -2,3% et 8,9% et d'une amélioration moyenne de 2%. (Bosquet et al., 2007)

La réduction des charges d'entraînement doit être opérée sur le volume d'entraînement, l'intensité est maintenue voir augmentée, la fréquence d'entraînement est presque maintenue

Question essentielle

Quelles sont les caractéristiques d'affûtage qui permettent d'obtenir les gains de performance les plus grands ?

Paramètres de l'affûtage :

1. la durée de l'affûtage,
2. l'amplitude de la réduction des charges,
3. l'équilibre entre l'intensité et le volume,
4. la dynamique de la réduction de la charge d'entraînement,
5. le contenu des séances

Recommandations sur le volume

1. ↓ Du volume de 60 à 90% (revue de littérature de Mujika *et Padilla,* 2003) ; ex : ↓ de 12km quotidiens à 2 km
2. la méta-analyse de Bosquet et coll. (2007) suggère une diminution optimale du volume chez des athlètes confirmés entre 40 et 60%

Fréquence d'entraînement

1. Réduction des charges est obtenue par la diminution de la durée des séances plus que par la fréquence des entraînement
2. Réduction de la fréquence < 20% en particulier pour les sportifs de haut-niveau et dans les activités où la composante technique est importante

Intensité

- Le maintien voire l'augmentation de ce paramètre serait indispensable pour optimiser la performance
- Son maintien associé à une réduction de volume augmenterait la taille, l'activité ATPasique et la vitesse de raccourcissement des fibres II (Neary et al., 2003)
- Toutefois, une réduction de l'intensité, une intensité correspondant à la compétition a permis des gains de performance (Shepley et al.,1992)

Dynamique de la réduction du volume

(Banister et al., 1999)

65% de réduction → nd 7%
31% de réduction → 0% de gain et 5%

Figure 1. Représentation des formes de réduction de l'entraînement lors de l'affûtage.

Et les autres formes d'affûtage non étudiées?

La simulation avec le modèle des effets de l'entraînement peut explorer ce terrain

Forme d'entraînement

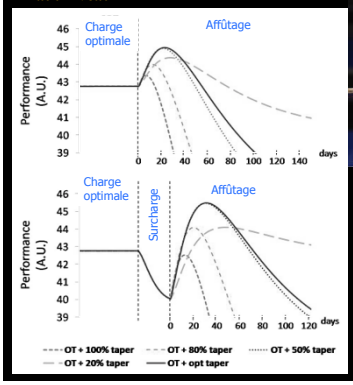
Respect de la spécificité de l'entraînement

Variabilité interindividuelle

- patrimoine génétique, (50% de la variabilité inter-individuelle des réponses à un entraînement donné, Bouchard et al., 1999)
- âge, niveau d'entraînement,
- type d'activité (sport traumatisant → durée plus longue)

type d'entraînement précédant l'affûtage (l'affûtage devrait être d'autant plus long que l'entraînement a été rude et inversement pas d'affûtage pour un entraînement modeste)

Modélisation- simulation chez des gymnastes de haut niveau



Galbès et al. En révision

Sensibilité individuelle à l'entraînement

Bilan des applications directes :

1. Délais de récup avant un nouveau travail spécifique de qualité ≈ 1-10 j
2. Durée d'affûtage ≈ 1 à 4 semaines pour les athlètes d'élite et pas nécessaire pour le néophyte
3. Durée maximale de repos avant la nouvelle saison <Temps de recouvrement de la perf initiale
4. Simulation de différentes stratégies d'entraînement

détermination individuelle possible

4. La charge optimale (celle qui détermine les gains de perf les plus importants)
5. La surcharge (120% de la charge optimale)
6. Les types d'entraînement qui autorisent un transfert positif sur la performance

1. analyse des exigences de l'activité
2. Principes de l'entraînement

→ structure de l'entraînement

Evaluation des aptitudes initiales et des effets de l'entraînement

Evaluation de la sensibilité à l'entraînement

individualisation de l'entraînement

Structure de l'entraînement

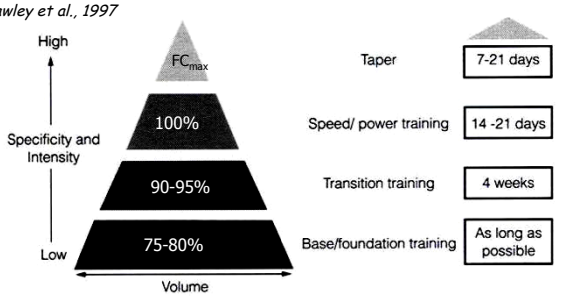
- Microcycle : dynamique des charges de travail sur la semaine avec un objectif particulier (développement, choc, régénération, transition…)
- Mesocycle ou macrocycle : (1 mois)
- Périodes de :
  - préparation
  - pré-compétition
  - compétition
  - affûtage

l'existence de ces périodes est liée au fait qu'un sportif ne peut garder une condition optimale pendant une saison complète. La performance passe obligatoirement par une phase d'amélioration, de stabilisation et puis de décroissance (Matveiev)

Structure de l'entraînement

Une proposition de l'école sud-africaine

Hawley et al., 1997



Phase of training	*Typical workout*	*Comments*
Base training	*Duration:* 30 minutes to several hours *Intensity:* 70–75% of $\dot{V}O_{2max}$ 75–80% of maximal heart rate *Frequency:* 7–12 sessions per week	• Undertaken during non-competitive period for as long as possible (3–6 months) • High volume of training • Low to moderate intensity • Prolonged, continuous exercise
Transition training	*Duration:* 30–90 minutes *Intensity:* 85–90% of $\dot{V}O_{2max}$ 90–95% of maximal heart rate *Frequency:* 2–3 sessions per week	• Undertaken 6 weeks prior to competitive season for 3–4 weeks • Moderate volume of training • Maximum steady-state/race pace • Continuous or intermittent exercise
Speed training	*Duration:* 30–60 minutes *Intensity:* Maximal *Frequency:* 2–3 sessions per week	• Undertaken for 2–3 weeks after transition training prior to major competitions • Low volume of training • Faster than race pace Intermittent exercise with long recovery between work bouts

Hawley & Burke, 1998

Ecole Européenne

- Effectuer un travail de qualité à PMA

≥ PMA

- Réaliser l'essentiel du travail foncier à vitesse modérée (en dessous du seuil) afin de limiter la fatigue en évitant la zone entre le seuil et PMA

≤ au seuil

Ecole Kenyane

Beaucoup de travail intense en altitude

Au camp d'entraînement près d'Embu au Kénya se déroulent les trois premières semaines de mars pour préparer les Championnats du Monde de Cross. les coureurs masculins courent environ **225 km par semaine et les féminines 145 à 160 km**.
Au camp d'Embu , les coureurs kenyans courent à une vitesse exigée pour gagner les championnats du monde (2'45" à 2'48" pour les hommes et 3'02" à 3'06" pour les femmes) sur une base presque journalière, et le programme de la semaine inclue des côtes a fond , du travail d'intervalle, des séances de rythme énorme , et 19 exercises au total, tous sur un terrain accidenté à 2000 m d'altitude.
Ces trois semaines de tortures sont précédées de 5 mois de développement qui préparent les membres de l'équipe du kenya à survivre à Embu. Le travail important du stage final ne pourrait pas être réalisé sans cet important travail de base.
MOIS D'OCTOBRE
Trois entraînements par jour : 6 heures, 10 heures, 16 heures.
Les entraînements de 6 et 16 heures n'ont rien d'extraordinaire, le matin 7 à 10 km de course modérée et l'après-midi 30 à 40 minutes de "circuit kenyan d'entraînement" qui comporte des étirements , des exercises d'équilibre , des exercises de plyométrie. Ceux de 10 heures varient chaque jour et sont de plus intense, sortie longue de 18-20 km , travail de côte 15 répétitions d'une côte pentue de 200 à 300 m, fartlek alternant 2 minutes allure compétition et 1 minute de footing facile , ou bien une séance de 12 km à allure continue (on peut dire au seuil anaérobie). malgré tout le mois d'octobre est très dure, une semaine type d'octobre totalise une distance de 180 à 200 km, une grande charge si l'on considère que l'entraînement de septembre est presque nul. La période du mois d'octobre est souvent vue comme un cycle d'entraînement choc par ceux qui ne sont pas familiers avec la course kenyanne, et en effet , la période à haut risque de blessure pour les coureurs kenyans est le mois d'octobre. cependant le volume d'entraînement semble moins gargantuesque lorsque l'on considère le vécu des coureurs kenyans; Les enfants kenyans d'âge scolaire courent au moins 150 km par semaine pour se rendre à l'école.

http://athletics73.over-blog.com/

...il préfère s'entraîner chez lui au Kenya, à 2400m d'altitude.
Ses entraînements sont très durs, mélangeant résistance et vitesse. Il s'entraîne jusqu'à 3 fois par jour, 5 jours par semaine et ne court jamais le dimanche...

http://www.volodalen.com/32historique/keino.htm

Table 6. Typical training sessions performed by highly trained athletes in five intensity zones (Aasen, 2008).

Zone	VO2 (%max)	Examples of training sessions	Manageable duration[a]
1	45-65	Continuous bouts	60-360 min
2	66-80	Continuous bouts	60-180 min
3	81-87	6 x 15 min, 2-min rec 2 x 25 min, 3-min rec 5 x 10 min, 2-min rec 8 x 8 min, 2-min rec LT 40-60 min 50 x 1 min, 20-s rec	50-90 min
4	88-93	10 x 6 min, 2-3-min rec 8 x 5 min, 3-min rec 15 x 3 min, 1-min rec 40 x 1 min, 30-s rec 10 x (5 x 40 s, 20-s rec), 2- to 3-min breaks 30-40 min steady state	30-60 min
5	94-100	6 x 5 min, 3-4-min rec 6 x 4 min, 4-min rec 8 x 3 min, 2-min rec 5 x (5 x 1 min, 30-s rec), 2- to 3-min breaks	24-30 min

[a]Warm-up and rest periods in interval bouts are not included.
LT, lactate threshold (max steady state); rec, recoveries.

http://www.sportsci.org/2009/ss.htm

Individualisation

1. analyse des exigences de l'activité
2. Principes de l'entraînement

⇒ structure de l'entraînement

Evaluation des aptitudes initiales

Evaluation de la sensibilité à l'entraînement

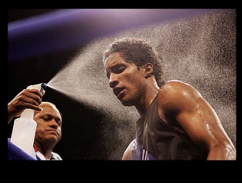
individualisation de l'entraînement

Evaluation des aptitudes initiales

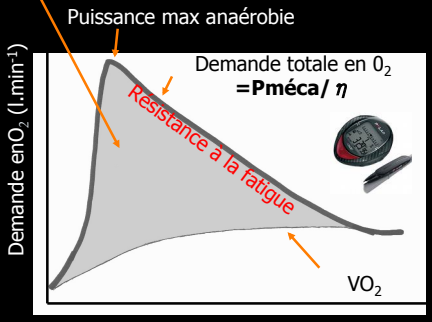
Performance = puissance métabolique / économie

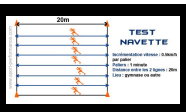
= $(A/t + VO_{2max}\ f)$ / économie

(1) (2) (4) (3)



Déficit en O_2 pour un exercice "all out"





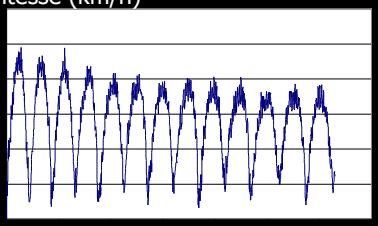
Application du radar : Quantification capacité anaérobie dans les sports co et activités d'opposition

V → Puissance → VO2max et A/T

$P = C\ V + P\ cin$

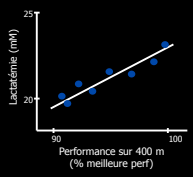
Où

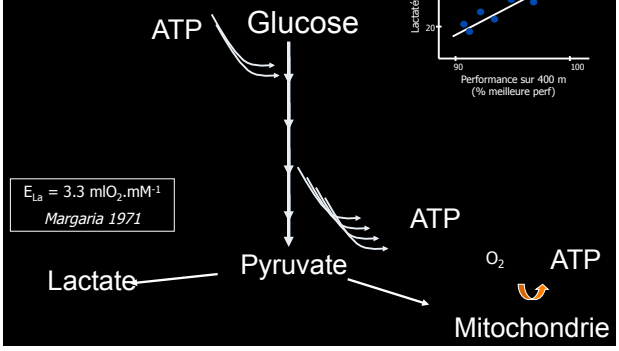
Pcin =1/2 m(Vmax²-Vmin²)/t



Glycolyse

Lacour et al., 1990 ; Korhonen et al., 2005





E_{La} = 3.3 mlO_2.mM^{-1}

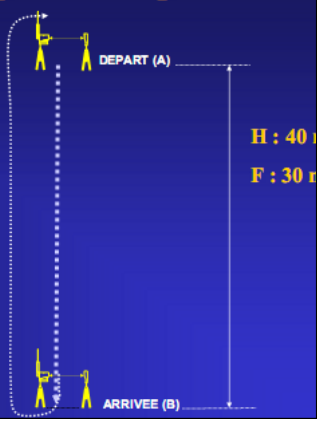
Margaria 1971

Capacité à répéter des sprints

TEST de référence

n = 5 à 40 répétitions

Récupération = 25 s

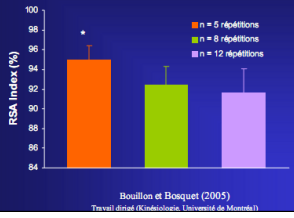


Capacité à répéter des sprints

Indice de fatigue :

$$100 - \left[\left(\frac{record^{*}\,n}{tempstotal}\right)^{*}100\right]$$

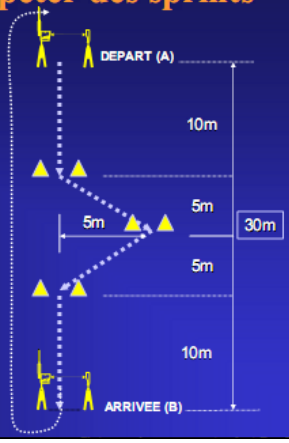
Capacité à répéter des sprints



Capacité à répéter des sprints

TEST de Bangsbo 1994

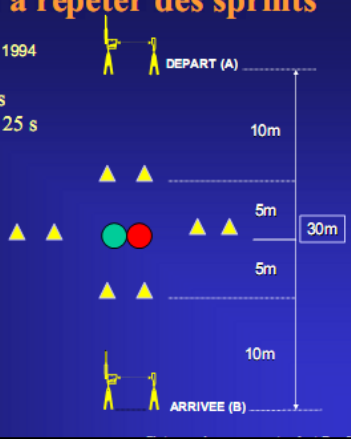
n = 7 répétitions
Récupération = 25 s



Capacité à répéter des sprints

TEST de Bangsbo 1994

n = 7 répétitions
Récupération = 25 s



Ansoly

(4'50)
4'53
4'72
4'75
4'99
5'03
5'13

$$100 - \left[\left(\frac{\text{record} * n}{\text{temps .total}}\right) * 100\right]$$

4'53 * 6 = 27.48

Somme = 29.15

Dim. Perf = 5.73%

Kevin

6'40
6'40
6'30
6'25
6'30
6'40

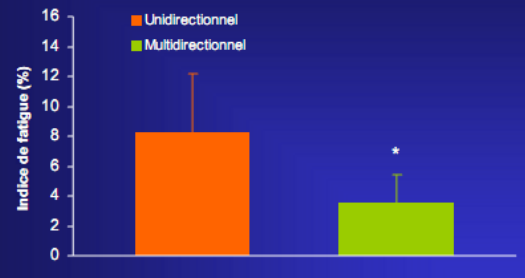
$$100 - \left[\left(\frac{\text{record} * n}{\text{temps .total}}\right) * 100\right]$$

4'53 * 6 = 37.50

Somme = 38.05

Dim. Perf = 1.44%

Capacité à répéter des sprints



Bosquet et Dansereau. *J Sport Sci 2006 ; soumis*

Evaluation des aptitudes initiales

Vitesse maximale aérobie = VO_{2max} / économie
(1) (2)

Test de course sur piste (Léger et Boucher, 1980)

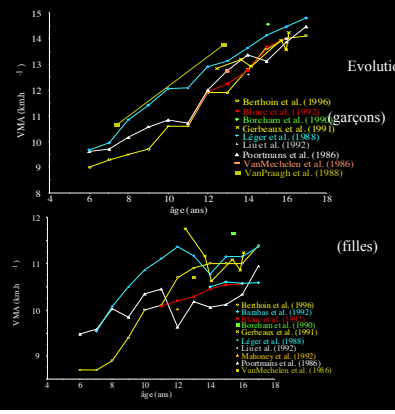
$mlO_2/m/kg$

$V_{dernier\ pallier}$ = $(A/t + VO_{2max})$ / économie

?

Parce que $A/t << VO_{2max}$ → $V_{dernier\ pallier}$ = Vitesse maximale aérobie

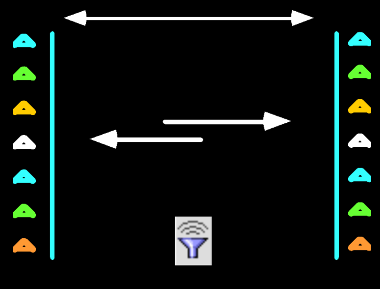
Evaluation des aptitudes initiales



Evolution de VMA avec l 'âge

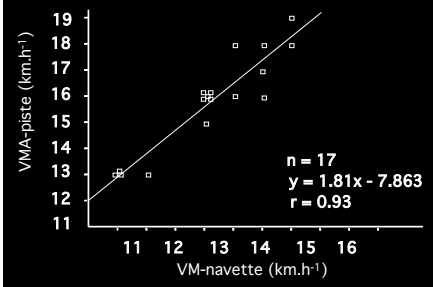
Berthoin

- Léger et collaborateurs (1984)

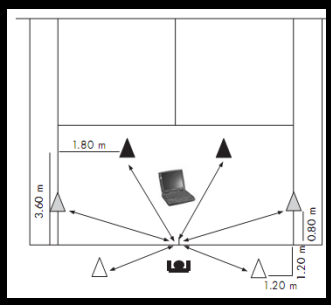


Comparaison des vitesses maximales en course sur piste et en course navette

VMA (km.h^{-1}) = 2.4*VM - 14.7



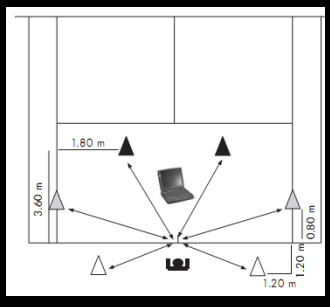
Test incrémental pour les activités intermittentes



- 1 palier = 7 courses navettes orientées sur une des 6 cibles alternées de 15s de récup passive :
  - 2 courses offensives vers l'avant
  - 3 courses latérales (neutres)
  - 2 défensives (arr.)
- Même technique de course qu'en match

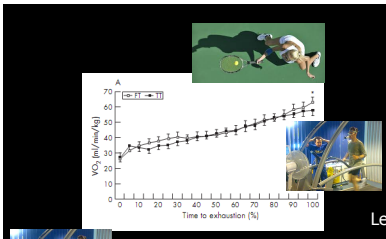
Girard et al, 2006

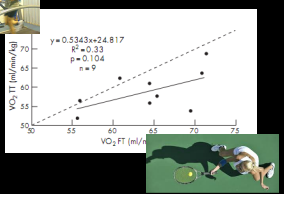
Test incrémental pour les activités intermittentes



- 1er palier est de 40,5s
- les paliers suivant diminue de 0,8s
- Signal visuel et bip sonore pour les cibles à atteindre piloté par un ordinateur
- Arrêt quand retard de plus d'un mètre

Girard et al, 2006





Le test de terrain plus motivant

⇩

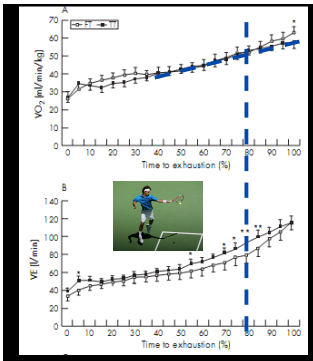
permet d'atteindre des intensités plus élevées que le test de labo

Girard et al, 2006

Test de labo intermittent

- 3 min en continue 9 km/h suivies par
- Paliers d'incrément de 0.5 km/h toutes les minutes (à plat). :
  - 45 s course
  - 15 s de marche à 5 km/h
- Arrêt de l'effort à l'atteinte de l'épuisement

Girard et al, 2006



Détermination intensité seuil

Perte de linéarité de la relation VO_2 / T

= 1ere intensité qui détermine une composante lente de VO2

= chute du rendement

=fatigue musculaire

= seuil ventilatoire

= intensité max pour volume important de travail

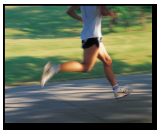
Girard et al, 2006

Coefficient de variation test-retest

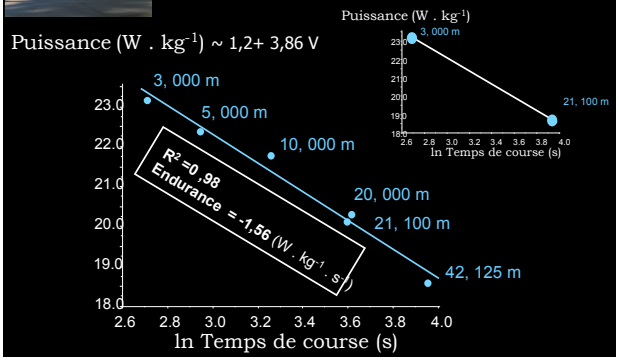
Parameter	FT 1	FT 2	CV (%)
T_{lim} (s)	1479 (68)	1454 (103)	1.2
VO_{2max} (ml/min/kg)	57.4 (6.4)	58.2 (6.5)	1.0
HR_{max} (bpm)	194.3 (6.7)	187.3 (1.2)	2.6
[La] (mmol/l)	8.0 (2.8)	7.4 (2.1)	5.2
RPE (points)	17.3 (1.2)	16.7 (1.5)	2.8
VT (%VO_{2max})	73.7 (3.9)	70.9 (8.7)	2.7
VT (%HR_{max})	84.8 (3.9)	87.5 (2.6)	2.2
RCP (%VO_{2max})	90.3 (4.5)	86.5 (8.0)	3.0
RCP (%HR_{max})	94.0 (2.7)	93.6 (1.6)	0.3

Values are mean (SD). HR_{max}, maximum heart rate; [La], blood lactate concentration; RCP, respiratory compensation point; RPE, rating of perceived exertion; T_{lim}, time to exhaustion; VO_{2max}, maximum oxygen uptake, VT, ventilatory threshold.

Girard et al, 2006



Evaluation de l'endurance


Puissance (W . kg-1) ~ 1,2+ 3,86 V
3, 000 m
5, 000 m
10, 000 m
20, 000 m
21, 100 m
42, 125 m
R² =0 ,98
Endurance = -1,56 (W . kg-1 . s-1)
ln Temps de course (s)
Puissance (W . kg-1)
ln Temps de course (s)

Points de repère pour l'entraînement

1. Vitesse maximale aérobie ou FC correspondant à VO_{2max} :

   → 95- 100% de VMA pour le développement de VO_{2max}

   → 105 à 120% de VMA et au-delà pour le développement de la capacité anaérobie

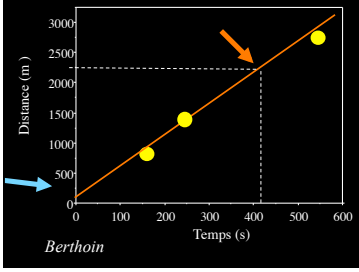
   → Exercice de sprints répétés

2. Vitesse cible pour le développement de l'endurance et des aspects techniques

   → vitesse critique

Concept de Vitesse critique

distance = 5,14.temps + 230



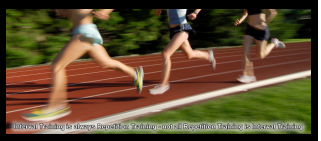
Performance sur 1000 m = 2 min 35

Performance sur 1500 m = 4 min

Performance sur 3000 m = 9 min

Vcritique	5,14 m/s
Vcritique	18,504 km/h
D 420s	2 388,8 m
VMA	5,7 m/s
VMA	20,5 km/h
%VMA	90%

Dessinez une séance de développement :



1. De l'endurance fondamentale de l'athlète en question
2. De V'O2max en vous appuyant sur la méthode de (Thibault et Marion 1998)

NB. Vous irez jusqu'à la détermination des temps de passage au km pour l'endurance et temps de passage au 100m, le nombre de répétitions, les temps de récupération etc.

Rappel : calcul d'un temps de passage

Pour un vitesse de 5 m/s le temps de passage au 100 m est facilement grâce à la définition même de la vitesse (v) :

$v = d / t$ (1)

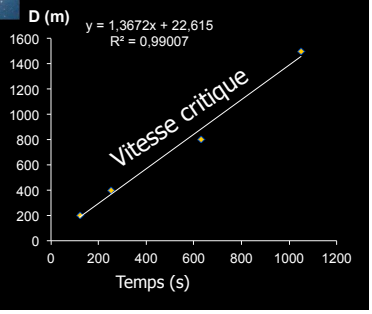
Ici d =100 m. En isolant t, on obtient directement le solution :

$t = d / v = 100/5 =$ 20s pour le passage au 100m (et 10s pour celui au 50m) .

Crawl

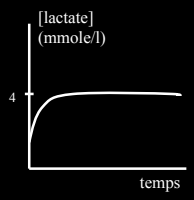
T (s)	D (m)
120	200
255	400
630	800
1050	1500

V critique	1,4	m/s
V critique	4,9	km/h

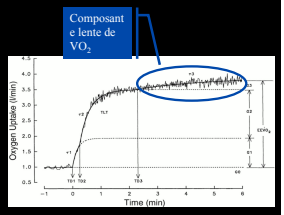


Evaluation des aptitudes initiales

Vitesse critique ≈ seuil de stabilité de lactatémie



Vitesse critique ≈ seuil d'apparition de la fatigue musculaire



Vitesse critique = vitesse à laquelle un gros volume d'entraînement peut être réalisé sans fatigue excessive

Limites

1. Modèle simple dans lequel la cinétique de VO_2 n'est pas prise en compte
2. L'endurance n'est pas prise en compte dans ce modèle simple

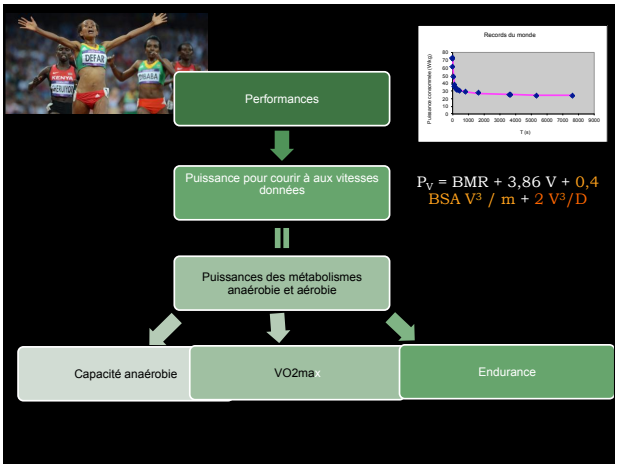
- L'ordonnée à l'origine (capacité anaérobie?) n'est pas corrélée avec la capacité anaérobie
- On ne peut estimer correctement la vitesse critique qu'entre 2 et 30 min

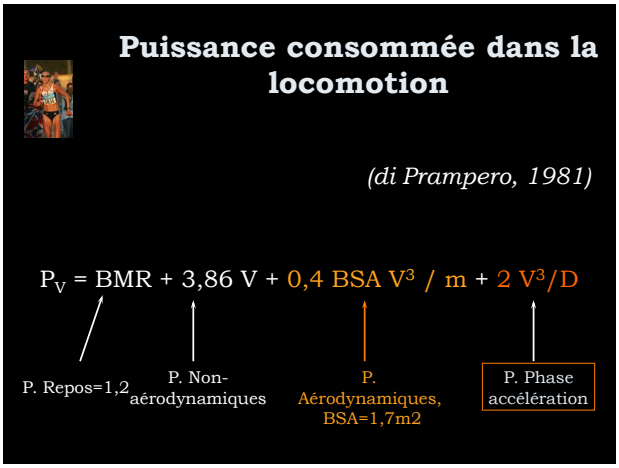
Détermination des aptitudes énergétiques à partir des records personnel de l'athlète

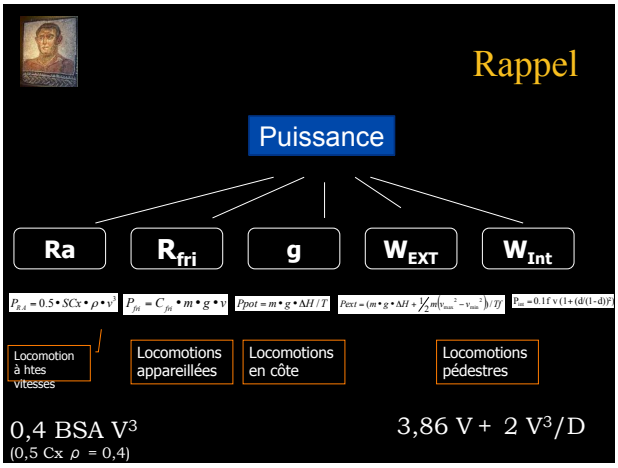
Record du monde

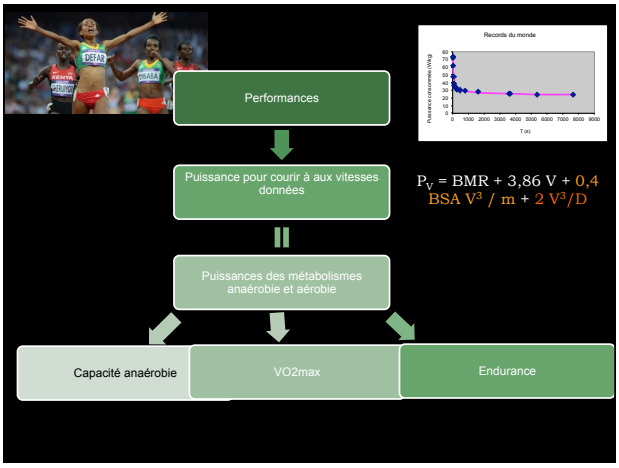
(Péronnet et Thibault, 1989)

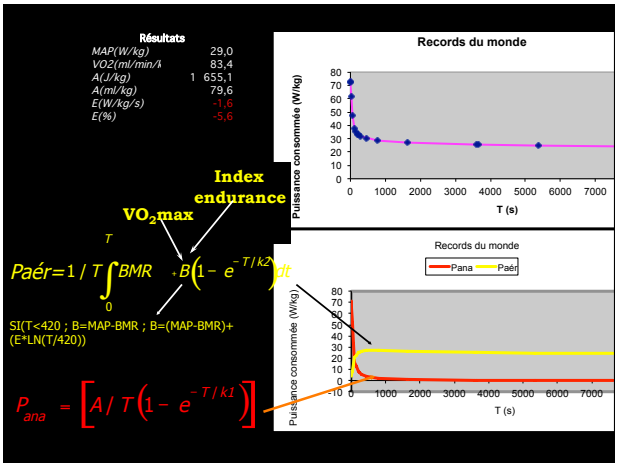
Capacité anaérobie — $\dot{V}O_{2\ max}$ — Index endurance

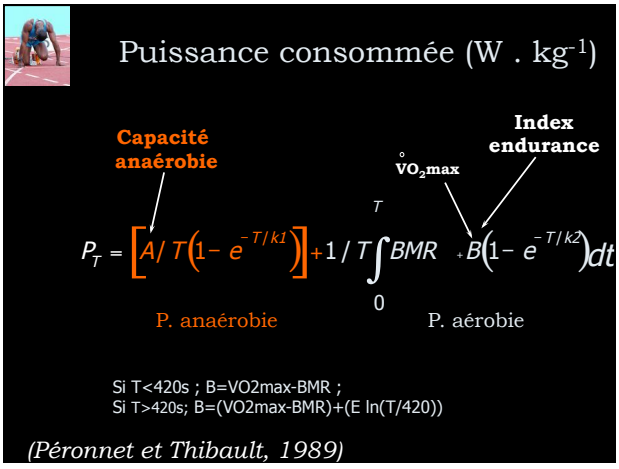

Performances
Puissance pour courir à aux vitesses données
Puissances des métabolismes anaérobie et aérobie
Capacité anaérobie
VO2max
Endurance
Records du monde
P_V = BMR + 3,86 V + 0,4 BSA V^3 / m + 2 V^3/D

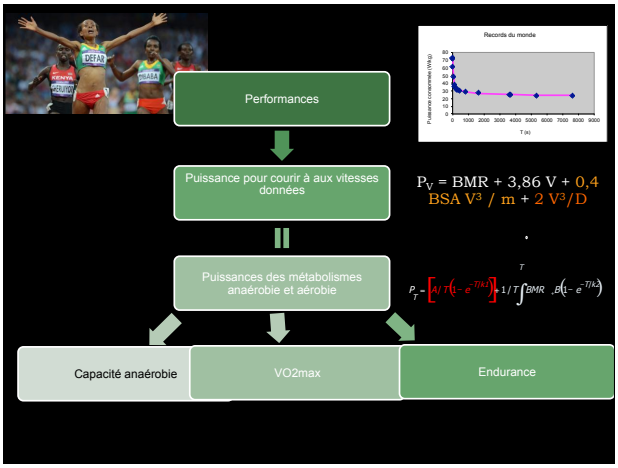

Puissance consommée dans la locomotion
(di Prampero, 1981)
P_V = BMR + 3,86 V + 0,4 BSA V^3 / m + 2 V^3/D
P. Repos=1,2
P. Non-aérodynamiques
P. Aérodynamiques, BSA=1,7m2
P. Phase accélération


Rappel
Puissance
Ra
R_{fri}
g
W_{EXT}
W_{Int}
Locomotion à htes vitesses
Locomotions appareillées
Locomotions en côte
Locomotions pédestres
0,4 BSA V^3
(0,5 Cx ρ = 0,4)
3,86 V + 2 V^3/D


Performances
Puissance pour courir à aux vitesses données
Puissances des métabolismes anaérobie et aérobie
Capacité anaérobie
VO2max
Endurance
Records du monde
P_V = BMR + 3,86 V + 0,4 BSA V^3 / m + 2 V^3/D


Résultats
MAP(W/kg) 29,0
VO2(ml/min/k 83,4
A(J/kg) 1 655,1
A(ml/kg) 79,6
E(W/kg/s) -1,6
E(%) -5,6
Records du monde
Puissance consommée (W/kg)
T (s)
Index endurance
VO_2max
$Paér=1/T\int_0^T BMR + B(1-e^{-T/k2})dt$
SI(T<420 ; B=MAP-BMR ; B=(MAP-BMR)+(E*LN(T/420))
Records du monde
Pana
Paér
$P_{ana} = [A/T(1-e^{-T/k1})]$


Puissance consommée (W . kg-1)
Capacité anaérobie
Index endurance
$\dot{V}O_2max$
$P_T = [A/T(1-e^{-T/k1})] + 1/T\int_0^T BMR + B(1-e^{-T/k2})dt$
P. anaérobie
P. aérobie
Si T<420s ; B=VO2max-BMR ;
Si T>420s; B=(VO2max-BMR)+(E ln(T/420))
(Péronnet et Thibault, 1989)


Performances
Puissance pour courir à aux vitesses données
Puissances des métabolismes anaérobie et aérobie
Capacité anaérobie
VO2max
Endurance
Records du monde
$P_V = BMR + 3,86\ V + 0,4\ BSA\ V^3 / m + 2\ V^3/D$

Sensibilité individuelle à l'entraînement

1. analyse des exigences de l'activité
2. Principes de l'entraînement

→ structure de l'entraînement

Evaluation des aptitudes initiales et intensité d'entraînement

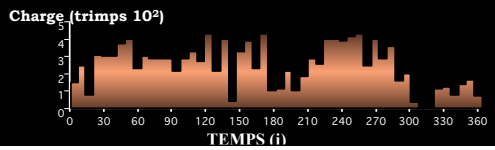
Evaluation de la sensibilité à l'entraînement

Individualisation de l'entraînement

Charge d'entraînement

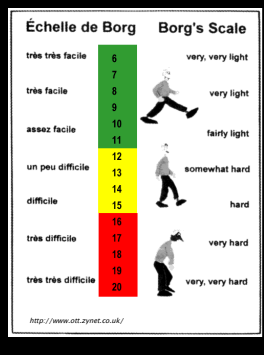
Charge = Volume · Intensité · Facteur pondération
(trimps) (min) (%max) (sans dimension)

- Durée, Kilométrage ou Nbre de répet
- FC, VMA, Vmax, RPE ou RM
- Fonction de l'activité et ou de l'intensité



Fatigue perçue

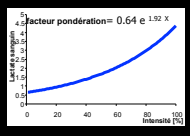
- Une aide supplémentaire précieuse
- Sert également pour ajuster l'entraînement d'une semaine sur l'autre

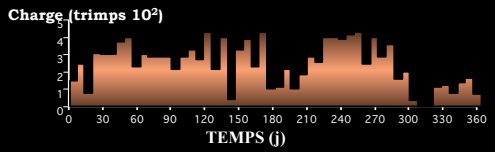


Quantification des charges avec la FC (Banister)

Charge = Durée · Intensité · Facteur pondération
(trimps) (min) (%max) (sans dimension)

Intensité = $(Fc_{exercice}-Fc_{repos})/(Fc_{max}- Fc_{repos})$





Exemple en endurance

Exercice de 100 min à 150 battement/min pour un athlète ayant une fréquence cardiaque max de 200 et une fréquence de repos de 50

Durée = 100

Intensité = $(Fc_{exercice}-Fc_{repos})/(Fc_{max}- Fc_{repos})$ = (150-50)/(200-50)= 0.66

K = 0.64 e $^{1.92\ intensité}$ = 0.64 e $^{1.92x0.66}$ = 2.3

→ charge= 100 x 0.66 x 2.3 = 152 trimps

Concept de charge limite

- 125 trimps quotidiennes pendant une semaine pour des coureurs à pied de 30-40 ans de niveau régional (Morton et Banister)
- Pour des athlètes d'endurance de l'élite → charge quotidienne de 250 trimps pendant un mois !
- Détermination individuelle de la charge limite → utilité du carnet d'entraînement

Charge optimale

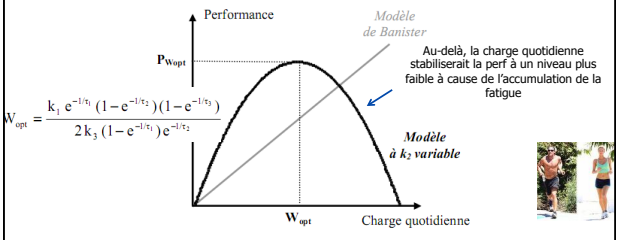

Performance
Modèle de Banister
P_{Wopt}
Au-delà, la charge quotidienne stabiliserait la perf à un niveau plus faible à cause de l'accumulation de la fatigue
$W_{opt} = \frac{k_1 e^{-1/\tau_1}(1-e^{-1/\tau_2})(1-e^{-1/\tau_3})}{2k_3(1-e^{-1/\tau_1})e^{-1/\tau_2}}$
Modèle à k_2 variable
W_{opt}
Charge quotidienne

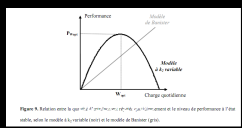
Figure 9. Relation entre la quantité d'entraînement répétée quotidiennement et le niveau de performance à l'état stable, selon le modèle à k_2 variable (noir) et le modèle de Banister (gris).

Busso 2003

Charge optimale

- Au-delà, la charge quotidienne stabiliserait la perf à un niveau plus faible à cause de l'accumulation de la fatigue
- Pour un entraînement sans monotonie, la charge optimale peut être dépassée :

d'où l'utilité de la périodisation avec surcharges et d'affûtages pour atteindre un niveau de performance encore supérieure à celui de la charge optimale



Disciplines d'endurance

Cycloergomètre *Busso et coll., 1991a*	**w = Durée × Puissance moyenne / Puissance Maximale Aérobie**
Natation *Mujika et coll., 1996a,b*	**w = 1 kmI + 2 kmII + 3 kmIII + 5 kmIV + 8 kmV + équivalent de l'entraînement à sec** *kmI, kmII, kmIII, kmIV et kmV : nombre de kilomètres parcourus aux intensités I, II, III, IV, V. Les facteurs de pondération (1, 2, 3, 5 et 8) sont proportionnels au taux de lactate sanguin mesuré au préalable à différentes vitesses de nage (v_{nage}). Intensité I : $v_{nage} \approx 2$ mmol.L^{-1} ; Intensité II : $v_{nage} \approx 4$ mmol.L^{-1} ; Intensité III : $v_{nage} \approx 4$ mmol.L^{-1} ; Intensité IV : $v_{nage} \approx 10$ mmol.L^{-1} ; Intensité V : $v_{nage} \approx v_{nage\ max}$*
Cycloergomètre *Busso et coll., 1997, 2003*	**w = N × (%PMA soutenu / %PMA prescrit)** *%PMA : Pourcentage de Puissance Maximale Aérobie ; N : facteur basé sur le nombre de séries d'exercices intermittents, qui diffère selon la période d'entraînement ; pendant une période d'entraînement intensif : N = 100 unités ; pendant une période d'entraînement réduit : N = 50 unités ; pour le test jusqu'à épuisement à charge constante (avec %PMA prescrit = 100%) : N = 20 × (Durée (en min) / 5). Les auteurs ont considéré que toutes les séances prescrites d'une même période avaient la même charge d'entraînement.*
Cycloergomètre *Busso et coll., 2002*	**w = n_{ET} × (Puissance / $P_{lim\ ET}$) × 100** *n_{ET} = nombre de séquences d'exercice de 5 min ; $P_{lim\ ET}$ = puissance maximale développée sur 5 minutes ; 100 correspondait au nombre d'unités d'entraînement allouées pour un test de $P_{lim\ ET}$ (un test de mesure de $\dot{V}O_{2max}$ équivalait également à 100 unités d'entraînement).*
Natation *Avalos et coll., 2003 ; Hellard et coll., 2005, 2006*	**w = moyenne** $\left(\frac{kmI}{kmI_{max}} + \frac{kmII}{kmII_{max}} + \frac{kmIII}{kmIII_{max}} + \frac{kmIV}{kmIV_{max}} + \frac{kmV}{kmV_{max}} + \frac{minVI}{minVI_{max}}\right)$ *kmI, kmII, kmIII, kmIV et kmV : nombre de kilomètres parcourus aux intensités I, II, III, IV, V (cf. Mujika et coll., 1996a,b) ; minVI : nombre de minutes à intensité VI (exercices de musculation). L'indice « max » indique les valeurs maximales des paramètres concernés au cours de la période étudiée.*
Course à pied *Wood et coll., 2005*	**w = 2 minI + 4 minII + 6 minIII + 10 minIV + 16 minV** *minI, minII, minIII, minIV et minV sont respectivement le nombre de minutes parcourus aux zones d'intensité I, II, III, IV et V. Les facteurs de pondération (2, 4, 6, 10 et 16) sont en accord avec la réponse du lactate sanguin à chaque intensité. Les zones I et II sont comprises entre 50% FC de réserve et la zone III ; zone III = FC au seuil ventilatoire ±5bpm ; zone IV = zone III < FC < zone V ; zone V = FC > (FC_{max} – 5 bpm).*

Thomas, 2009

Disciplines explosives

Entraînement en FORCE-VITESSE	
Haltérophilie *Busso et coll., 1990, 1992*	**w = Nombre de répétitions × % Charge maximale**
Lancer de marteau *Busso et coll., 1991b, 1994, 2005*	**w = lM + 0,6L + 0,1B** *M : nombre de répétitions en musculation ; L : nombre de lancers effectués ; B : nombre de bondissements ; I : intensité moyenne pour le travail de musculation ; 0,6 et 0,1 : paramètres pondérant le volume de travail.*

Ex: 50 squats à 90% RM x 1 + 20 lancers à 90% x 0,6 + 100 bondisset x 0,1

= (50 x 0,9 x 1) + (20 x 0,9 x 0,6) + (100 x 0,1)

Charge = = 66 unités d'entraînement

Quantification des performances

Nbre de perf >10 (n=30 souhaitable pour la précision des résultats et des simulations)

- Épreuve de substitution plus courte que la perf réelle (*Banister et al., 1985*)
- Ou correction de la distance en fonction du poids de l'engin chez lanceurs de marteau (*Busso et al. 91 et 94*)
- Echelle subjective de 0 à 10 chez des triathlètes (*Millet et al., 2002*)
- Vitesse à 160 de FC en course à pied (*Millet et al., 2002*)
- *4 x 100 m avec temps de récup codifiés en natation* (*Millet et al., 2002*)

Majorer le poids des performances de niveau élevé

- Exprimer les performances sur une échelle log pour un groupe hétérogène ou pour un suivi sur plusieurs années :

Score de Performance

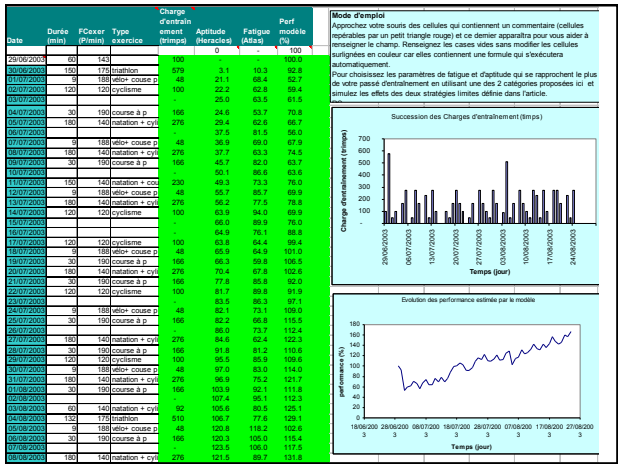
$$C_P = b \cdot \ln\left(\frac{a}{L - p}\right)$$

Δ record et perf sédentaire

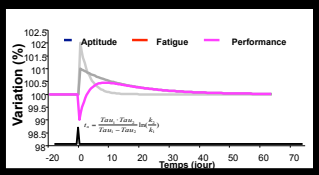
Performance

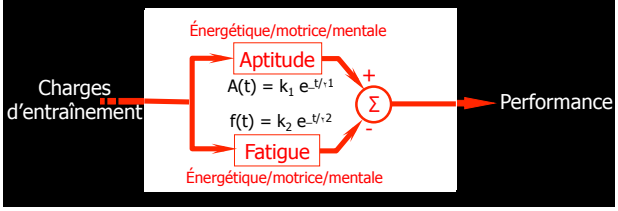
Record ds l'activité

Performance du sédentaire



Modèle des effets de l'entraînement

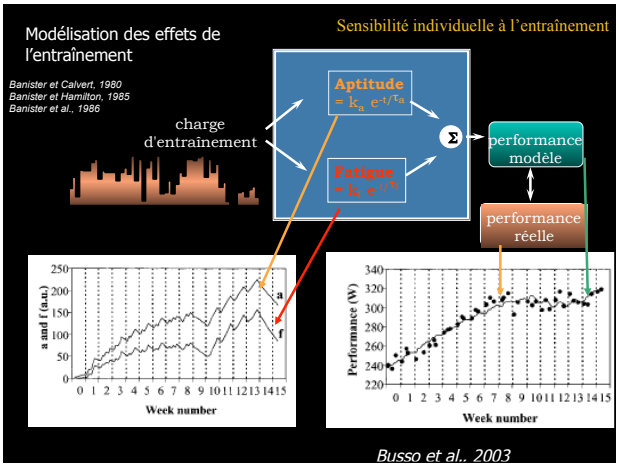




Modélisation des effets de l'entraînement

Sensibilité individuelle à l'entraînement

Banister et Calvert, 1980
Banister et Hamilton, 1985
Banister et al., 1986



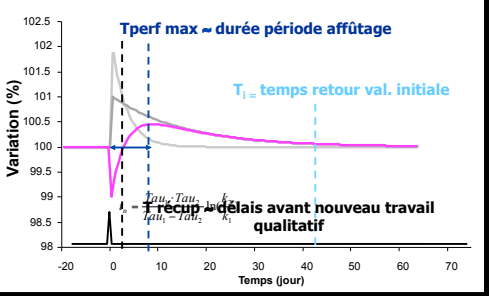
Busso et al., 2003

La sensibilité individuelle à l'entraînement est caractérisée par :

- Les 4 paramètres du modèles (K_1, K_2, τ_1, τ_2)
- La charge optimale
- La durée pour atteindre perf max
- La durée de récup
- La durée pour la disparition des effets de l'entraînement

Sensibilité individuelle à l'entraînement

Borrani


Tperf max ≈ durée période affûtage
Ti = temps retour val. initiale
Trécup = délais avant nouveau travail qualitatif
Variation (%)
Temps (jour)

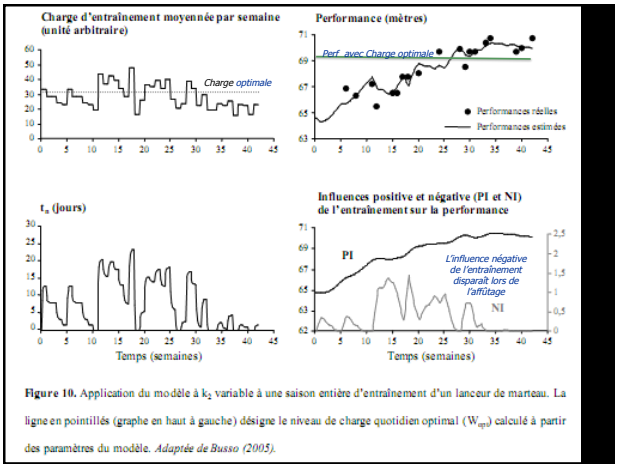
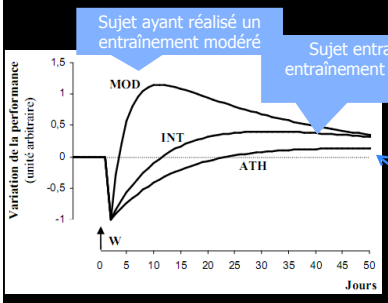


Figure 10. Application du modèle à k_2 variable à une saison entière d'entraînement d'un lanceur de marteau. La ligne en pointillés (graphe en haut à gauche) désigne le niveau de charge quotidien optimal (W_{opt}) calculé à partir des paramètres du modèle. *Adaptée de Busso (2005).*

Effet négatif de l'entraînement



Athlète de haut niveau (le niveau de perf est difficile à faire bouger)

Thomas, 2009

Plus les charges d'entraînement sont lourdes plus les effets négatifs de l'entraînement sont amplifiés ⇨ Modèle à fatigue variable

Autre limite du modèle de Banister

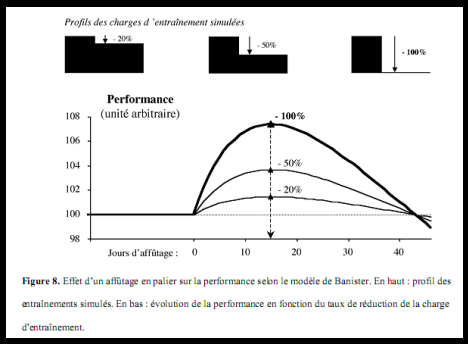
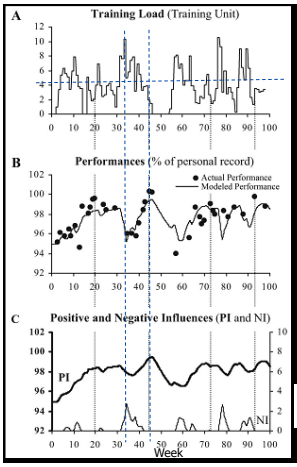


Figure 8. Effet d'un affûtage en palier sur la performance selon le modèle de Banister. En haut : profil des entraînements simulés. En bas : évolution de la performance en fonction du taux de réduction de la charge d'entraînement.

Valeurs des paramètres du modèles pour athlètes et non-athlètes

		k_1 (a.u.)	k_3 (a.u.)	τ_1 (days)	τ_2 (days)	τ_3 (days)
Non-athletes; n = 6 (4)	Mean ± SD	0.0310 ± 0.0073	0.000035 ± 0.000010	30.8 ± 1.6	16.8 ± 3.3	2.3 ± 1.0
Athletes; n = 7 (21)	Mean ± SD	0.0342 ± 0.0096	0.0034 ± 0.0033	43.6 ± 12.1	12.7 ± 7.2	4.1 ± 1.6

Thomas et al., 2009



Réponses à l'entraînement de nageurs haut niveau

- Erreur de description de l'ordre 1%
- la meilleure perf est obtenue après une surcharge de 10 semaines et 3 semaines d'affûtage avec 60 % de réduction des charges
- Avec les 10 semaines de coupure, la perf était de -7%

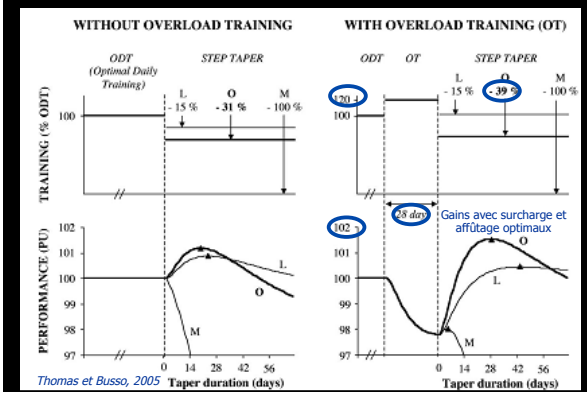
Thomas et al., 2008

Résultat des simulations

1. Le paramètre majeur dans les gains de performance est l'importance de la surcharge. Cette dernière semble optimale pour 120% de la charge optimale.
2. La durée optimale d'affûtage est de l'ordre de 3 semaines
3. La réduction optimale des charges est d'environ 60%
4. La forme de la réduction ne possède que peu d'importance

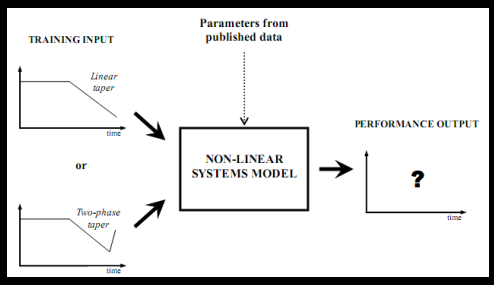
Thomas et al., 2008

Gains grâce surcharge et affûtage optimaux



Thomas et Busso, 2005

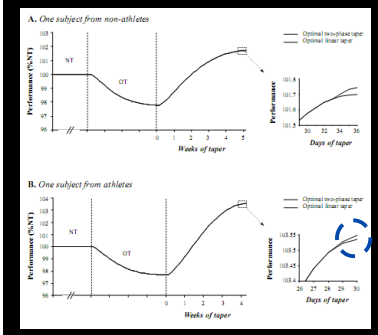
Forme optimale d'affûtage



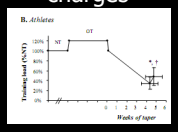
Thomas et al., 2009

L'affûtage en deux phases semble optimal

Thomas et al., 2009



3 jours de ré-augmentation discrète des charges



Un gain final de perf substantiel

Influences négatives et positives de l'entraînement

L'effet de la charge d'entraînement réalisée au jour i sur la performance au jour n est quantifiée par :

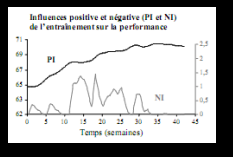
$$E(i/n) = k_1 w_i e^{-(n-i)/\tau_1} - k_2 w_i e^{-(n-i)/\tau_2}$$

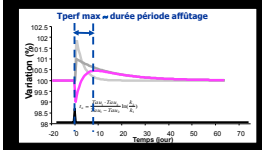
Les valeurs de PI et NI au jour n sont estimées à partir de la somme des influences positives ou négatives de chaque charge d'entraînement passée:

$NI_n = \sum_{i=1}^{n-1} |I(i/n)|$, quand $E(i/n) < 0$.

$PI_n = p^* + \sum_{i=1}^{n-1} |I(i/n)|$, quand $E(i/n) > 0$.

La performance estimée au jour n vérifie aussi l'équation $\hat{p}_n = PI_n - NI_n$.





Sensibilité individuelle à l'entraînement

Affûtage

Affûtage = après une surcharge, ↓ non-linéaire des charges afin ↑ la perf

Gain de perf de 2% en moyenne (6% à -1%) chez 100 nageurs qui préparaient les JO de 2000. Contre perf chez 10% d'entre eux (Mujika *et al.*, 2002).

- méta-analyse qui reposait sur 27 études portant exclusivement sur des sportifs confirmés, fait part de variations de performance comprises entre -2,3% et 8,9% et d'une amélioration moyenne de 2%. (Bosquet et al., 2007)

Question essentielle

Quelles sont les caractéristiques d'affûtage qui permettent d'obtenir les gains de performance les plus grands ?

Paramètres de l'affûtage :

1. la durée de l'affûtage,
2. l'amplitude de la réduction des charges,
3. l'équilibre entre l'intensité et le volume,
4. la dynamique de la réduction de la charge d'entraînement,
5. le contenu des séances

Recommandations sur le volume

1. ↓ Du volume de 60 à 90% (revue de littérature de Mujika *et Padilla,* 2003) ; ex : ↓ de 12km quotidien à 2 km
2. la méta-analyse de Bosquet et coll. (2007) suggère une diminution optimale du volume chez des athlètes confirmés entre 40 et 60%

Fréquence d'entraînement

1. Réduction du volume obtenue par la diminution de la durée des séances plus que par la fréquence des entraînements
2. Réduction de la fréquence < 20% en particulier pour les sportifs de haut-niveau et dans les activités où la composante technique est importante

Intensité

- Le maintien voire l'augmentation de ce paramètre serait indispensable pour optimiser la performance
- Son maintien associé à une réduction de volume augmenterait la taille, l'activité ATPasique et la vitesse de raccourcissement des fibres II (Neary et al., 2003)
- Toutefois, une réduction de l'intensité, une intensité correspondant à la compétition a permis des gains de performance (Shepley et al.,1992)

Dynamique de la réduction du volume

Banister et al., 1999

65% de réduction → nd 7%
31% de réduction → 0% de gain et 5%

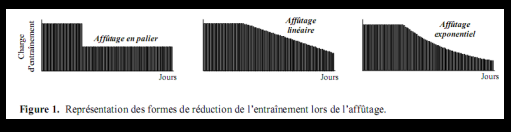


Figure 1. Représentation des formes de réduction de l'entraînement lors de l'affûtage.

Et les autres formes d'affûtage non étudiées?

La simulation avec le modèle des effets de l'entraînement peut explorer ce terrain

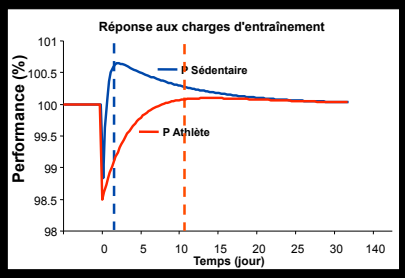
Forme d'entraînement

Respect de la spécificité de l'activité

Variabilité interindividuelle

- patrimoine génétique, (50% de la variabilité inter-individuelle des réponses à un entraînement donné, Bouchard et al., 1999)
- âge, niveau d'entraînement,
- type d'activité (sport traumatisant → durée plus longue)
- type d'entraînement précédant l'affûtage (l'affûtage devrait être d'autant plus long que l'entraînement a été rude et inversement pas d'affûtage pour un entraînement modeste)

Durée optimale affûtage



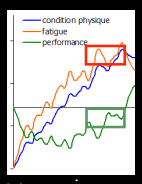
Les athlètes ont recourt à de lourdes charges d'entraînement

⇩

La période d'affûtage est d'autant plus longue que l'athlète est de niveau élevé

1 à 3 semaines chez les athlètes d'élite avec possibilité de la déterminer individuellement

Affûtage



Deux cas de figure limites :

1. maintient d'un entraînement trop vigoureux → fatigue trop élevée et la performance n'atteint pas son niveau optimal le jour J mais plus tard
2. ↓ drastique de l'entraînement → désentraînement

Déterminer 2 stratégies d'affûtage entre ces 2 bornes et ajustement sur la base du 'feeling' de l'athlète et de son entraîneur

Période de surcharge

Eviter le surentraînement à long terme

- Définition du surentraînement : effondrement des performances qui requiert une longue période de récupération (jusqu'à plusieurs mois)
- Définition du surentraînement à court terme, ou « overreaching », qui est recherché et caractérisé par une faible réduction des performances et réversible plus rapidement (Fry et coll., 1991).

Détermination individualisée :

1. Délais de récup avant un nouveau travail spécifique de qualité ≈ 1-3 j
2. Durée d'affûtage ≈ 1 à 3 semaines après surcharge
3. Durée maximale de repos avant la nouvelle saison

4. Charge optimale (celle qui détermine les gains de perf les plus importants)
5. Surcharge optimale (120% de la charge optimale pendant 3-4 semaines)
6. Simulation de différentes stratégies d'entraînement et prévision de la période d'atteinte de la perf maximale

Conclusion

L'entraînement continuera de fasciner sans doute en raison de la difficulté que l'on éprouve à le maîtriser et cela malgré les connaissances accumulées.

Perspectives

Individualisation de l'entraînement sur la base :

(i) d'une évaluation fiable des aptitudes de l'athlète

(ii) Une approche plus systématique de la réponse individuelle à l'entraînement

Marqueurs du Surentraînements

- Lourdes charges d'entraînement (hautes intensités en particulier) => risques de surentraînement
- Définition du surentraînement : diminution durable de la performance alors que les charges d'entraînement sont maintenues

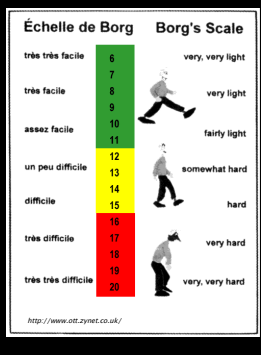
- Modélisation de l'entraînement : outils excellent pour :
  1. Caractériser le surentraînement
  2. Anticiper sur sa survenue

Anticiper le surentraînement

- Concept de charge limite (utile pour le pratiquant moyen)
- Fonction négative de transfert (~ fatigue, outils plus fin)
- Fatigue perçue
- Concept de charge optimale (gain de perf maximal, point de repère --> 120% pendant 4 semaines max puis affûtage)
- Marqueurs biologiques (ferritine, VGM, testostérone/ cortisol, variabilité cardiaque)

Fatigue perçue

- Une aide supplémentaire précieuse
- Sert également pour ajuster l'entraînement d'une semaine sur l'autre



Concept de charge optimale

- Gain de perf maximal, point de repère --> 120% pendant 4 semaines max puis affûtage
- Evaluation possible avec modèle de Busso 2003 (fonction négative de fatigue variable en fonction de la dynamique des charges)

Concept de charge optimale

Obtenu en augmentant systématiquement la charge quotidienne pour une athlète donné

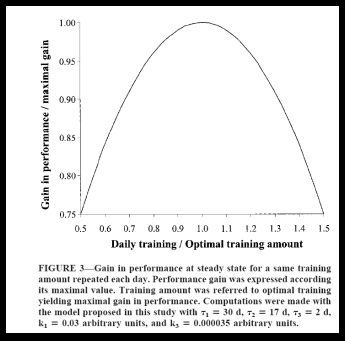


FIGURE 3—Gain in performance at steady state for a same training amount repeated each day. Performance gain was expressed according its maximal value. Training amount was referred to optimal training yielding maximal gain in performance. Computations were made with the model proposed in this study with $\tau_1 = 30$ d, $\tau_2 = 17$ d, $\tau_3 = 2$ d, $k_1 = 0.03$ arbitrary units, and $k_2 = 0.000035$ arbitrary units.